



Ю.В. Путилин

ТЕПЛОТЕХНИКА

Екатеринбург
2012

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра энергетики

Ю.В. Путилин

ТЕПЛОТЕХНИКА

Методические указания по подготовке к интернет-экзамену по дисциплине «Теплотехника» для студентов очной формы обучения по направлению 250300.62 «Технология и оборудование лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» и специальности 250300.65 «Технология деревообработки»

Екатеринбург
2012

Печатается по рекомендации методической комиссии ЛМФ.
Протокол № 1 от 10.09.2011 г.

Рецензент доцент канд. техн. наук А.И. Сафронов.

Редактор Е.Л. Михайлова
Оператор Е.В. Карпова

Подписано в печать		Поз. 48
Плоская печать	Формат 60x84 1/16	Тираж 100 экз.
Заказ №	Печ. л. 2,32	Цена 12 руб. 12 коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА № 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ЗАКОНЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ.....	7
2. ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА №2	13
2.1. Свойства газов и паров, термодинамические процессы реального газа.....	13
2.2. Термодинамика потока.....	16
3. ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА №3. ЦИКЛЫ ТЕПЛОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК	19
4. ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА № 4	24
4.1. Теплопроводность.....	24
4.2. Конвективный теплообмен	27
5. ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА № 5	30
5.1. Теплообмен излучением.....	30
5.2. Теплопередача, основы теплового расчета теплообменников.....	32
6. ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА №6	34
6.1. Топливо и основы горения.....	34
6.2. ТЭС и котельные установки	36
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	39

ВВЕДЕНИЕ

Федеральный экзамен в сфере высшего профессионального образования (ФЭПО) проводится в виде интернет-тестирования. Вопросы, выносимые на экзамен, разделены на шесть дидактических единиц (ДЕ). В каждом индивидуальном задании для студента 28 вопросов, их распределение по ДЕ приведено в табл. 1.

Таблица 1

Содержание и тематика вопросов индивидуального задания

№ ДЕ	Наименование дидактической единицы ГОС	№ задания	Тема задания	Кол-во вопросов
1	2	3	4	5
1	Основные понятия. Законы технической термодинамики	1	Основные понятия и определения	4
		2	Параметры состояния термодинамических систем	
		3	Первый закон термодинамики	
		4	Второй закон термодинамики	
2	Свойства газов и паров. Термодинамические процессы. Термодинамика потока	5	Теплоёмкость газов	6
		6	Смеси газов.	
		7	Термодинамические процессы реального газа	
		8	Истечение газов и паров	
		9	Дросселирование газов и паров	
		10	Сопла и диффузоры	
3	Циклы теплосиловых установок	11	Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок	4
		12	Циклы паросиловых установок	
		13	Циклы холодильных машин	
		14	Компрессоры	

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
4	Конвективный теплообмен	15	Основные положения теплопроводности	4
		16	Теплопроводность при стационарном режиме	
		17	Основы теории конвективного теплообмена	
		18	Определение коэффициентов теплоотдачи	
5	Теплообмен излучением. Теплопередача	19	Основы теории теплообмена излучением	4
		20	Теплообмен излучением системы тел в прозрачной среде	
		21	Теплопередача	
		22	Основы теплового расчёта теплообменников	
6	Топливо и основы теории горения. Тепловые электрические станции. Промышленные котельные установки	23	Характеристики твёрдого топлива	6
		24	Характеристики жидкого и газообразного топлива	
		25	Основы теории горения топлива. Топочные устройства. Горелки. Форсунки	
		26	Устройство вертикально-водотрубного барабанного парового котла	
		27	Расчёт КПД, расхода топлива и полезно использованной в котле теплоты	
		28	Вспомогательное оборудование котельной установки	

Вопросы охватывают всю тематику курса «Теплотехника». В первую и третью ДЕ включены вопросы одной темы, а все остальные ДЕ объединяют вопросы двух разных разделов курса. Так, например, в ДЕ №4 вклю-

чены два вопроса из темы «Теплопроводность» и два – из темы «Конвективный теплообмен».

В соответствии с методикой проведения интернет-экзамена ДЕ считается усвоенной при правильных ответах на более чем 50 % вопросов задания. Это означает, что в ДЕ №2 и №6 студент должен ответить на четыре вопроса из шести, а в остальных ДЕ – на три из четырёх.

В настоящих методических указаниях проанализированы более трёхсот вопросов из баз данных интернет-экзаменов 2009-2010 гг. Классификация их приведена в табл. 2.

Таблица 2

Классификация вопросов по темам и дидактическим единицам

№ ДЕ	Тематика и содержание
1	Основные понятия технической термодинамики, параметры состояния, законы термодинамики, термодинамические процессы идеального газа
2	2.1. Свойства газов и паров (теплоёмкость, смеси газов, влажный воздух), термодинамические процессы реального газа
	2.2. Термодинамика потока (истечение газов и паров, дросселирование, сопла и диффузоры)
3	Циклы теплосиловых установок (ДВС, ГТУ, ПТУ, холодильных машин, компрессоров)
4	4.1. Теплопроводность
	4.2. Конвективный теплообмен
5	5.1. Теплообмен излучением
	5.2. Теплопередача, основы теплового расчёта теплообменников
6	6.1. Топливо и основы горения
	6.2. ТЭС и котельные установки

Представленный ниже анализ вопросов и ответов на них проведён согласно указанной классификации. Ответы приводятся в соответствии с формулировками учебника А.П. Баскакова [1], принятого разработчиками тестовых заданий в качестве базового источника.

ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА № 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ЗАКОНЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

Тестовые вопросы, объединенные в эту ДЕ (а также и во все другие ДЕ) можно подразделить на две группы. Первая включает чисто понятийные вопросы, для ответа на которые требуется дать четкие формулировки основных определений. Для данной ДЕ – это определение предмета и метода технической термодинамики, параметров и уравнения состояния, термодинамического процесса, рабочего тела, внутренней энергии, теплоты, работы, термического КПД цикла, холодильного коэффициента; формулировки первого и второго законов термодинамики; характеристики термодинамических процессов и ряд других. Эта группа вопросов каких-либо комментариев не требует, отметим лишь, что все формулировки должны даваться в соответствии с [1].

Вторая группа вопросов уже требует аналитической работы по применению уравнений и законов технической термодинамики. Ниже приводятся некоторые указания по ответам на вопросы этой группы.

1. Уравнение состояния идеального газа

Его выражение, как известно, имеет вид

$$p\nu = RT, \quad (1.1)$$

где p – давление, Па (Н/м^2);

ν – удельный объем, $\text{м}^3/\text{кг}$;

T – абсолютная температура, К;

R – газовая постоянная, Дж/(кг·К).

В ряде вопросов требуется применить это уравнение при анализе термодинамического процесса 1-2 (приводится $p\nu$ -диаграмма):

а) заданы $T_1 = 1000 \text{ К}$, $\nu_1 = 3 \text{ м}^3/\text{кг}$, $R = 300 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, определить $p_1 = p_2$.

$$\text{Ответ: } p = \frac{RT}{\nu} = \frac{300 \cdot 1000}{3} = 100000 \text{ Па} = 0,1 \text{ МПа};$$

б) заданы $T_1 = 400 \text{ К}$, $T_2 = 40 \text{ К}$, $p_2 = 1 \text{ кПа}$, определить p_1 , если $\nu_1 = \nu_2$.

$$\text{Ответ: } p_1 = \frac{p_2 T_1}{T_2} = \frac{1 \cdot 400}{40} = 10 \text{ кПа}.$$

Пояснения: из уравнения состояния для процесса $\nu = \text{const}$ по-

$$\text{лучаем } p/T = \text{const}, \text{ т. е. } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2};$$

в) заданы $p_1 = p_2 = 100 \text{ кПа}$, $\nu_1 = 1 \text{ м}^3/\text{кг}$, $\nu_2 = 6 \text{ м}^3/\text{кг}$, $T_1 = 100 \text{ К}$, определить T_2 .

$$\text{Ответ: } T_2 = \frac{T_1 v_2}{v_1} = \frac{100 \cdot 6}{1} = 600 \text{ К}.$$

Пояснения: из уравнения состояния для процесса $p=\text{const}$ получаем $v/T=\text{const}$, т. е. $\frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$.

При выполнении расчетов следует обращать внимание на соответствие размерностей входящих в уравнение состояния величин, если «р» задано в Па, то «R» следует выражать в Дж/(кг·К), а если в кПа, то соответственно в кДж/(кг·К).

2. Первый закон термодинамики

2.1. Ряд вопросов включают применение его аналитических выражений.

$$q = \Delta u + \ell \quad (1.2)$$

$$\text{или} \quad dq = du + d\ell \quad (1.3)$$

$$\text{где} \quad d\ell \quad (1.4)$$

Например: а) заданы $\ell = 25$ Дж/кг и $\Delta u = 30$ кДж/кг, определить q .

Ответ: $q = 30000 + 25 = 30025$ Дж/кг;

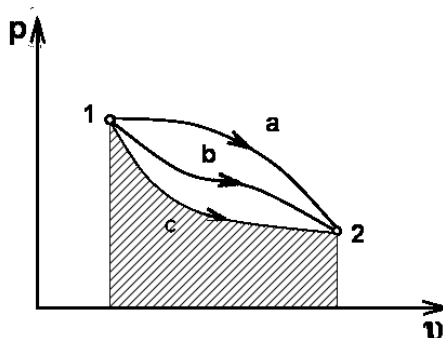
б) в p - v -диаграмме приведен процесс 1-2 при $v=\text{const}$, определить работу расширения.

Ответ: в процессе 1-2 $dv=0$, следовательно и $\ell=0$;

в) в p - v -диаграмме приведен процесс 1-2 при $p=\text{const}=100$ кПа, $v_1=1$ м³/кг, $v_2=6$ м³/кг, определить ℓ .

Ответ: $\ell=100 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2 \cdot 5 \text{ м}^3/\text{кг}=500 \cdot 10^3$ Дж/кг.

2.2. Есть вопросы на знание графического представления выражения (1.4) в p - v -диаграмме:



а) в p - v -диаграмме представлены процессы «а», «b», «с», в каком из них совершается наибольшая работа?

Ответ: $\ell_a > \ell_b > \ell_c$.

Пояснения: работа изменения объема эквивалентна площади под линией процесса (на рисунке заштрихована ℓ_c);

б) более сложный вопрос: по этой p - v -диаграмме определить соотношение между количеством теплоты в процессах «а», «b», «с».

Ответ: $q_a > q_b > q_c$.

Пояснения: поскольку работа максимальна в процессе «а», то и $q = \Delta u + \ell$ тоже наибольшее в этом процессе, так как изменение внутренней энергии от характера процесса не зависит ($\Delta u = u_2 - u_1$).

2.3. В нескольких тестовых вопросах используется вторая форма выражения первого закона термодинамики через энтальпию h :

$$dq = dh - v dp, \quad (1.5)$$

$$\text{где } h = u + pv. \quad (1.6)$$

Например: заданы $u = 100$ Дж/кг, $p = 5$ кПа, $v = 1$ м³/кг, определить h .

Ответ: согласно (1.6) $h = u + pv = 100 + 5000 = 5100$ Дж/кг.

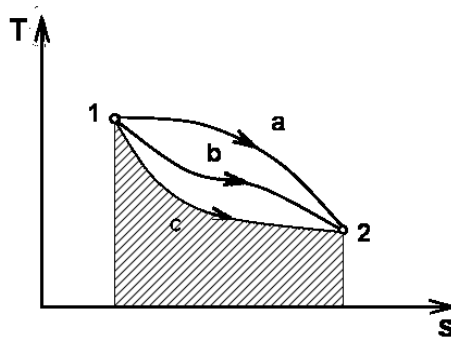
3. Второй закон термодинамики

Напомним, что аналитическое выражение второго закона термодинамики для равновесных процессов имеет вид

$$ds = \frac{dq}{T} \quad (1.7)$$

$$\text{или } \Delta s = s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{dq}{T}, \quad (1.8)$$

в соответствии с которым в T - s -диаграмме площадь под линией процесса 1-2 эквивалентна теплоте процесса q :



Каждому пути перехода системы из состояния 1 в состояние 2 (например «а», «b», «с») соответствует свое количество тепла:

$$\Delta q_a > \Delta q_b > \Delta q_c.$$

3.1. Вопросы на применение аналитического выражения (1.7) и Ts-диаграмму:

а) задан процесс 1-2 со следующими характеристиками: $T_1 = T_2 = 200 \text{ К}$, $q = 500 \text{ Дж/кг}$, $s_1 = 5 \text{ Дж/(кг·К)}$, определить s_2 .

Ответ: из выражения $q = T\Delta s$ получаем $(s_2 - 5) = \frac{500}{200}$,
 $s_2 = 5 + 2,5 = 7,5 \text{ Дж/(кг·К)}$;

б) задана приведенная выше в Ts-диаграмме схема трех процессов «а», «б», «с». Спрашивается, в каком из этих процессов совершается наибольшая работа. Этот вопрос требует уже знаний не только второго, но и первого закона термодинамики.

Ответ: $l_a > l_b > l_c$.

Пояснения: в процессе «а» согласно Ts-диаграмме количество теплоты максимальное, значит, и работа совершается наибольшая, так как $q = \Delta u + l$, а « Δu » от пути процесса не зависит ($\Delta u = u_1 - u_2$ в любом из них).

в) к чему приводит неравновесность процесса?

Ответ: к увеличению энтропии системы и потере части работы.

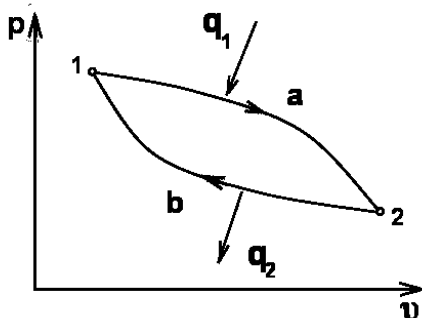
Заметим, что аналитическое выражение второго закона термодинамики для неравновесных процессов имеет вид

$$ds > \frac{dq}{T} ; \quad (1.9)$$

г) какими являются процессы, сопровождающиеся возрастанием энтропии?

Ответ: наиболее вероятными.

3.2. Вопросы по применению второго закона термодинамики к прямым и обратным циклам:



а) каким соотношением определяется термический КПД цикла?

Ответ: $\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}$;

б) чему равен максимальный КПД теплового двигателя, если температура рабочего тела меняется от 327°С до 27°С ?

Ответ: максимальный КПД достигается в прямом цикле Карно, для которого справедливо выражение $\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{600} = 0,5$;

в) какова формула для вычисления холодильного коэффициента?

Ответ: $\varepsilon = \frac{q_2}{q_1 - q_2}$;

г) чему равен холодильный коэффициент обратного цикла Карно, если $T_1 = 27^\circ\text{C}$, $T_2 = -23^\circ\text{C}$.

Ответ: $\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{250}{300 - 250} = 5$;

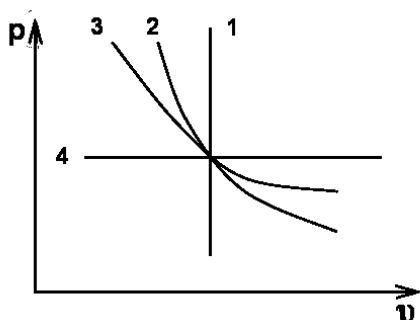
д) что является идеальным циклом паровой компрессионной холодильной машины?

Ответ: обратный цикл Карно.

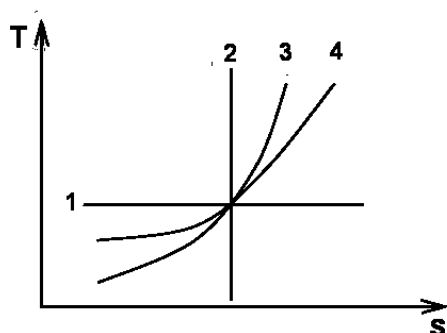
4. Термодинамические процессы идеальных газов

Вопросы этого раздела заключаются в основном в графическом представлении процессов p - v и T - s -диаграммах.

4.1. В различных заданиях требуется указать номер линии на диаграммах, изображающей тот или иной процесс.



Ответ: 1 – изохорный;
2 – адиабатный;
3 – изотермический;
4 – изобарный.

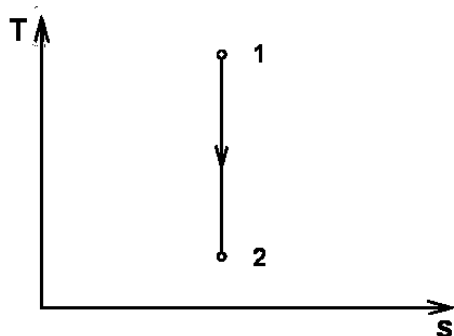


Ответ: 1 – изотермический;
2 – адиабатный;
3 – изохорный;
4 – изобарный.

Более сложные вопросы состоят в том, что процесс представлен в одной из диаграмм, а спрашивается об из-

менении параметров другой диаграммы. Ниже приводится анализ некоторых из них.

4.2. Дано изображение процесса 1-2 в Ts-диаграмме, требуется ответить на вопросы:



а) что происходит с рабочим телом в процессе 1-2?

Ответ: расширяется (это адиабатный процесс);

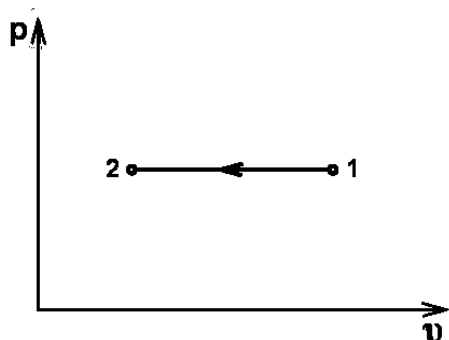
б) как изменяется давление в процессе 1-2?

Ответ: уменьшается (это адиабатный процесс);

в) какое выражение первого закона термодинамики справедливо для процесса 1-2?

Ответ: $\ell = -\Delta u$ (это адиабата, $dq=0$, значит, $d\ell = -du$).

4.3. Приведено изображение процесса 1-2 в pu-диаграмме. Спрашивается, как изменяется теплота в этом процессе?



Ответ: выделяется (это изобарный процесс сжатия).

2. ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА №2

СВОЙСТВА ГАЗОВ И ПАРОВ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ РЕАЛЬНОГО ГАЗА. ТЕРМОДИНАМИКА ПОТОКА

Эта дидактическая единица объединяет вопросы из двух разных разделов курса:

- 1) термодинамика закрытых систем;
- 2) термодинамика открытых систем (термодинамика потока).

В первую часть включены вопросы соответствующего раздела курса, не вошедшие в ДЕ №1, а именно: свойства газов и паров (теплоёмкость, смеси газов, влажный воздух и h -Диаграмма), термодинамические процессы реального газа (водяной пар), во вторую — вопросы по термодинамике потоков (истечение газов и паров, дросселирование, сопла и диффузоры). Как показали результаты тестирования 2010-2011 гг., именно эта ДЕ наиболее сложна для студентов, особенно вторая её часть.

2.1. Свойства газов и паров, термодинамические процессы реального газа

1. Теплоёмкость газов

Вопросы по этой теме простые, затруднений не вызывают. Стоит лишь привести принятую разработчиками тестов форму записи выражений для c_p и c_v :

$$c_p = \left[\frac{\delta q}{\delta T} \right]_p ; c_v = \left[\frac{\delta q}{\delta T} \right]_v$$

и подчеркнуть, что теплоёмкость зависит от вида процесса.

Выполнение каких-либо расчётов здесь заключается в применении уравнения Майера

$$c_p - c_v = R. \quad (2.1)$$

2. Смеси газов

Вопросы ограничены применением закона Дальтона, согласно которому полное давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений всех входящих в неё компонентов:

$$p = \sum_{i=1}^n p_i . \quad (2.2)$$

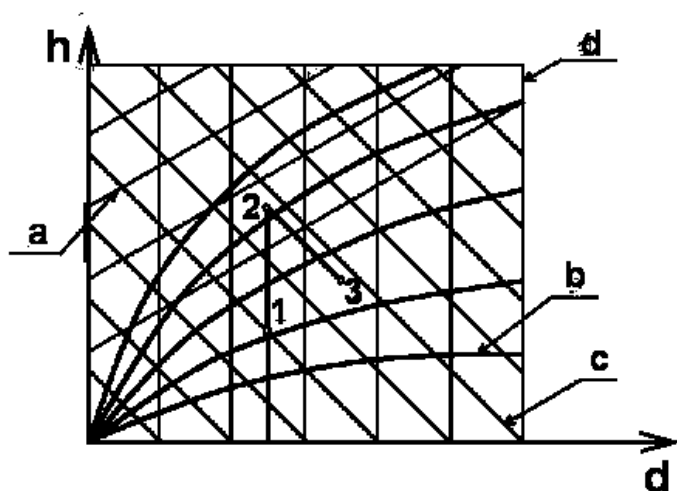
3. Влажный воздух и h - d -диаграмма

Вопросы этого раздела требуют дать определения насыщенного и не-насыщенного влажного воздуха, абсолютной и относительной влажности, влагосодержания, а также привести зависимость для расчёта максимально возможного влагосодержания:

$$d_{\max} = 0,622 \frac{p_s}{p - p_s} , \quad (2.3)$$

где p_s – максимально возможное парциальное давление водяного пара при данной температуре.

В ряде заданий встречаются вопросы по структуре h - d -диаграммы: какие линии на неё нанесены и как изображаются процессы сушки?



Ответ:

- процессы:

1-2 – нагревание воздуха
($d=\text{const}$);

2-3 – увлажнение воздуха
($h=\text{const}$).

- линии на диаграмме соответствуют:

a – изотерме влажного воздуха;

b – относительной влажности;

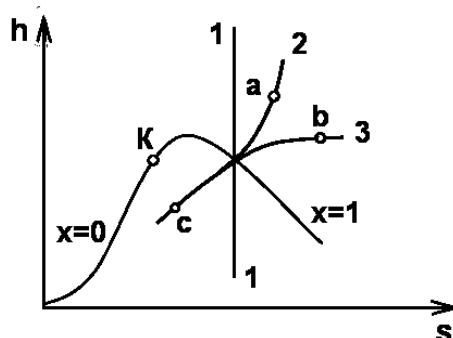
c – изоэнтальпе;

d – влагосодержанию.

4. Термодинамические процессы реального газа (водяной пар)

Данный раздел посвящён закономерностям парообразования. Этот процесс является и изобарным ($p_s=\text{const}$), и изотермическим ($t_s=\text{const}$).

Большинство вопросов касается анализа закономерностей с использованием hs -диаграммы водяного пара.



Например:

а) какими термодинамическими процессами являются изображённые на диаграмме?

Ответ: 1 – адиабатный; 2 – изобарный; 3 – изотермический;

б) по какой формуле вычисляется работа для процесса 1-1?

Ответ: $\ell = -\Delta u$;

в) по какой формуле вычисляется количество подведённой (отведённой) теплоты для процесса 2?

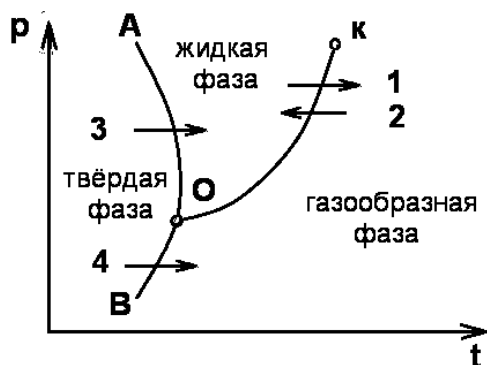
Ответ: $q_a = h_a - h_c$ (что следует из выражения первого закона термодинамики $dq = dh - vdp$, приобретающего для изобарного процесса вид $dq = dh$) ;

г) чему равна теплота парообразования в точке K ?

Ответ: $r = 0$.

5. Фазовые переходы

Вопросы касаются tr -диаграммы фазовых переходов вещества:



ОА – кривая плавления (затвердевания);

ОВ – кривая сублимации (десублимации);

ОК – кривая кипения (конденсации);

К – критическая точка.

Состояние, в котором существуют все три фазы, называется тройной точкой (точка «О» на диаграмме).

Вопрос: чему соответствуют фазовые переходы, обозначенные цифрами 1, 2, 3, 4?

Ответ: 1 – парообразованию; 2 – конденсации; 3 – плавлению; 4 – сублимации.

2.2. Термодинамика потока

Учитывая повышенную сложность вопросов этого раздела, приводим их полностью, за исключением определений сопел и диффузоров и их назначения.

1. Истечение газов и паров. Сопла и диффузоры

1.1. Уравнение первого закона термодинамики для потока имеет вид...

Ответ: $\delta q_{\text{внеш}} = dh + \delta \ell_{\text{тех}} + d(c^2/2)$.

1.2. Уравнение первого закона термодинамики для сопел, диффузоров имеет вид...

Ответ: $\delta q_{\text{внеш}} = dh + d(c^2/2)$.

1.3. Скорость адиабатного истечения из суживающегося сопла вычисляется по уравнению...

Ответ: $c_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2) + c_1^2}$.

1.4. Скорость адиабатного истечения идеального газа из суживающегося сопла вычисляется по уравнению...

Ответ: $c_2 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)} = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}$.

1.5. Массовый расход газа из суживающегося сопла вычисляется по уравнению...

Ответ: $m = F \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_1}{v_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$,

где F – площадь выходного сечения сопла.

1.6. Критическая скорость истечения идеального газа из суживающегося сопла вычисляется по уравнению...

Ответ: $c_{кр} = \sqrt{k p_{кр} v_{кр}}$ или $c_{кр} = \sqrt{2 \frac{k}{k+1} p_1 v_1} = \sqrt{2 \frac{k}{k+1} R T_1}$.

1.7. При достижении потоком скорости звука для дальнейшего ускорения потока канал должен...

Ответ: расширяться.

1.8. Каково назначение сопла, состоящего из суживающихся и расширяющихся частей (сопло Лавалья)?

Ответ: получение сверхзвуковой скорости газа (пара).

1.9. Критическое давление и скорость устанавливаются в сопле Лавалья в...

Ответ: самом узком сечении сопла.

1.10. Процессу истечения пара из сопла, если потери энергии на трение и теплоотдача к стенкам сопла пренебрежительно малы, соответствует...

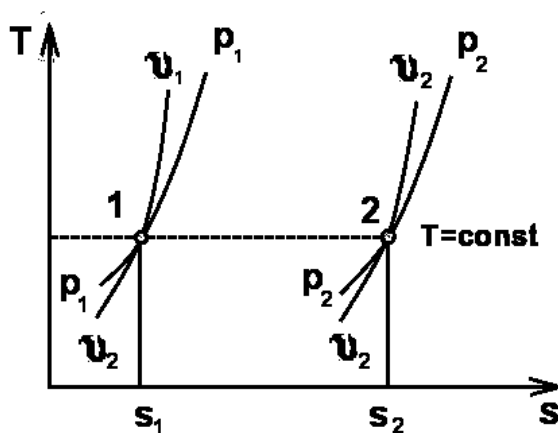
Ответ: $s = \text{const}$.

2. Дросселирование газов и паров

2.1. При адиабатном дросселировании идеального газа остаётся постоянным...

Ответ: энтальпия (при этом его давление падает, а объём увеличивается).

2.2. Дросселированию идеального газа соответствует процесс...



Ответ: 1-2 ($T = \text{const}$).

2.3. При дросселировании реального газа его температура меняется (эффект Джоуля-Томпсона), газ охлаждается – $\left(\frac{dT}{dp}\right)_h > 0$ или нагревается

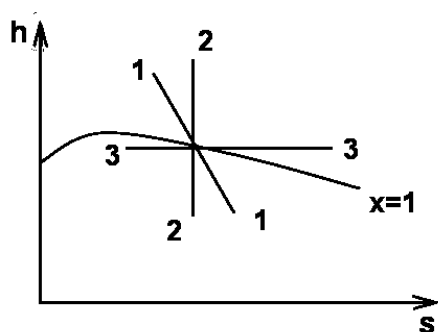
$$-\left(\frac{dT}{dp}\right)_h < 0.$$

Вопрос: точкой инверсии эффекта Джоуля-Томпсона называется состояние газа, в котором...

Ответ: $\left(\frac{dT}{dp}\right)_h = 0.$

2.4. Дросселированию водяного пара соответствует процесс...

Ответ: 3-3 ($h=\text{const}$).



2.5. Неравновесный процесс дросселирования приводит...

Ответ: к потере располагаемой работы (как и всякий другой неравновесный процесс).

2.6. При адиабатном дросселировании кипящей воды она в первую очередь превращается...

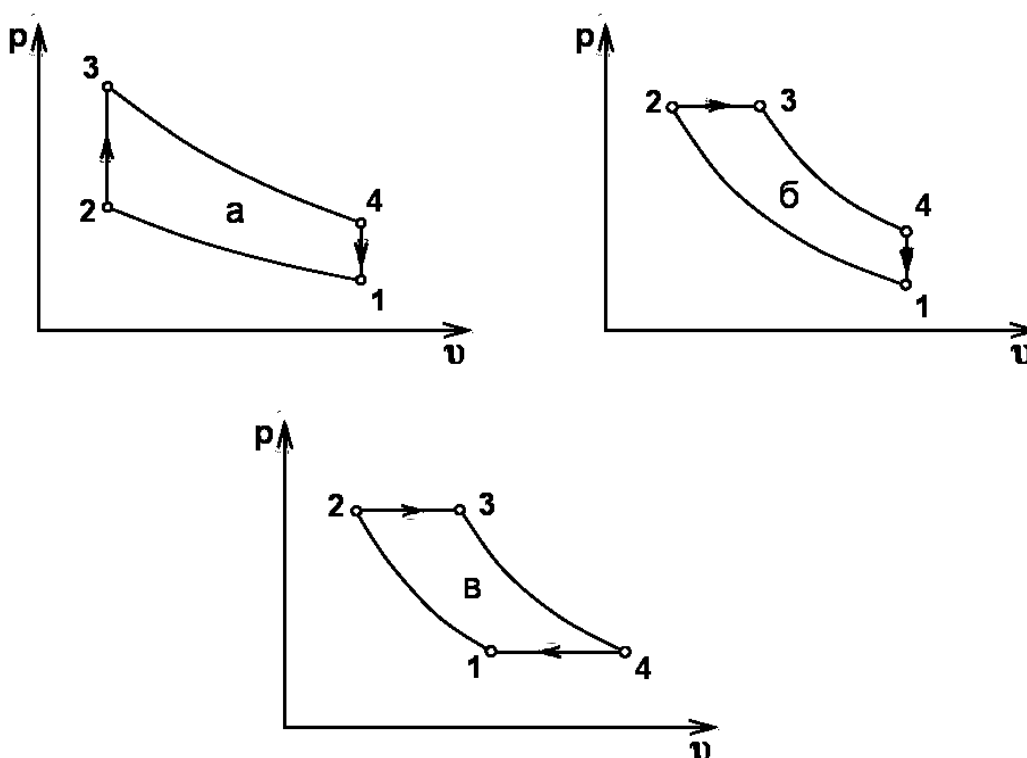
Ответ: во влажный насыщенный пар.

3. ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА №3 ЦИКЛЫ ТЕПЛОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК

В эту ДЕ включены вопросы по термодинамическим циклам двигателей внутреннего сгорания (ДВС), газотурбинных установок (ГТУ), паротурбинных установок, холодильных машин и компрессоров. По результатам тестирования 2010-2011 гг. вопросы не представляют особой сложности для студентов.

1. ДВС и ГТУ

1.1 Ряд вопросов посвящён изображению циклов в p - v -диаграмме:



а – карбюраторный ДВС;
б – дизельный ДВС ;
в – ГТУ.

1.2. Теоретический цикл ДВС состоит из адиабатного сжатия рабочего тела, изохорного или изобарного подвода теплоты, адиабатного расширения и...

Ответ: изохорного отвода теплоты.

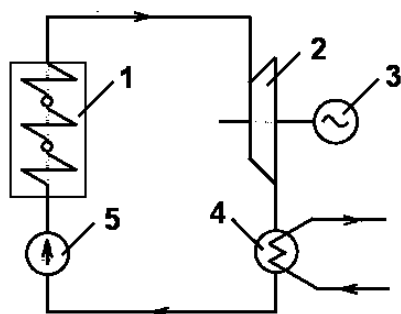
1.3. Термический КПД ДВС со сгоранием при $v=\text{const}$ (карбюраторного) вычисляется по выражению...

Ответ: $\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$,

где ε – степень сжатия.

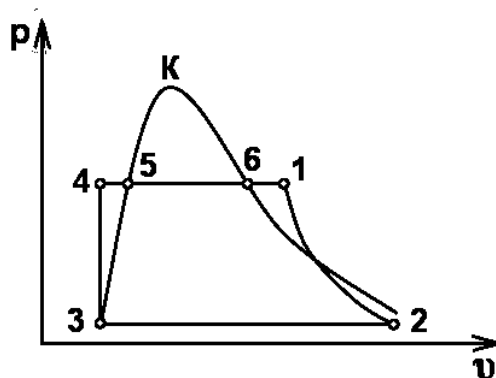
2. Паротурбинные (паросиловые) установки

2.1. Требуется по представленной схеме назвать состав паросиловой установки:



- 1 – паровой котёл;
- 2 – турбина;
- 3 – электрогенератор;
- 4 – конденсатор;
- 5 – питательный насос.

2.2. Приведён цикл Ренкина в p - v -диаграмме, требуется ответить на вопросы:



а) какой из процессов является адиабатным?

Ответ: 1-2;

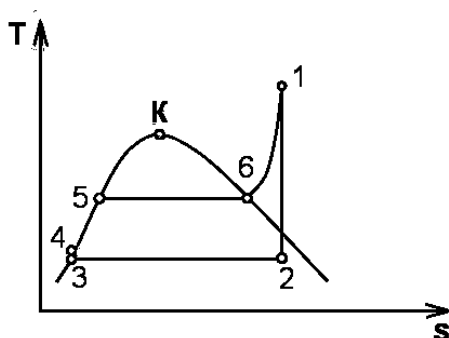
б) в каком термодинамическом процессе производится подвод и отвод теплоты?

Ответ: $p = \text{const}$;

в) чем оценивается эффективность цикла Ренкина?

Ответ: термодинамическим КПД цикла η_t .

2.3. Приведён цикл Ренкина в Ts -диаграмме, требуется ответить на вопросы:



а) в каком процессе цикла производится перегрев пара?

Ответ: 6-1;

б) к чему приводит увеличение температуры T_1 при неизменных остальных параметрах цикла?

Ответ: к увеличению η_t ;

в) в каком процессе цикла отводится теплота?

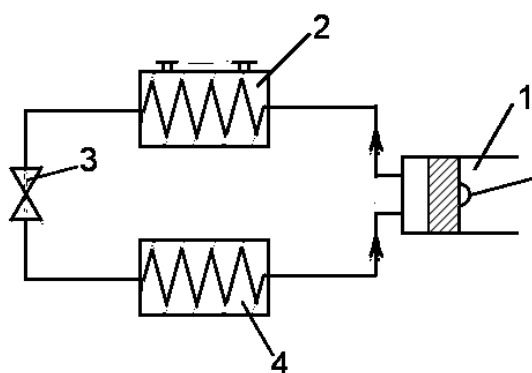
Ответ: 2-3;

г) к чему приводит увеличение температуры T_2 при неизменных остальных параметрах цикла?

Ответ: к уменьшению η_t .

3. Парокомпрессионные холодильные установки и тепловые насосы

3.1. Требуется по представленной схеме назвать состав холодильной машины:



- 1 – компрессор;
- 2 – конденсатор;
- 3 – дроссель;
- 4 – испаритель.

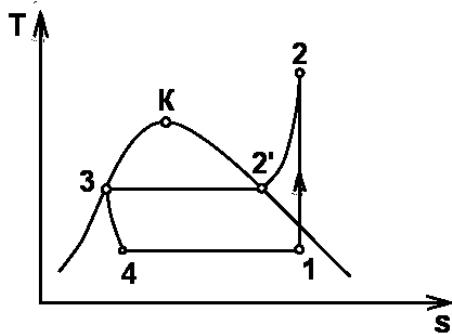
3.2. Идеальным циклом парокомпрессионной холодильной машины является...

Ответ: обратный цикл Карно.

3.3. Рабочим телом парокомпрессионной холодильной машины и теплового насоса являются...

Ответ: фреоны.

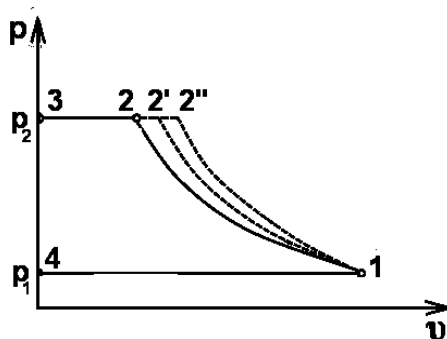
3.4. В процессе 4-1 хладагент в тепловом насосе...



Ответ: испаряется.

4. Компрессоры

4.1. Приведена индикаторная диаграмма идеального компрессора, требуется ответить на вопросы:



а) чему соответствуют линии 4-1 и 1-2 на диаграмме?

Ответ: 4-1 – всасыванию; 1-2 – сжатию;

б) какой площадью изображается работа компрессора, затрачиваемая на сжатие?

Ответ: площадь 4-1-2-3;

в) в каком процессе сжатия затрачиваемая работа наименьшая, а в каком наибольшая?

Ответ: наименьшая – при сжатии по изотерме (линия 1-2 на диаграмме), а наибольшая – по адиабате (линия 1-2'').

4.2. По какому выражению рассчитывается работа компрессора на сжатие и перемещение газа?

$$\text{Ответ: } \ell_{\text{к}} = \int_{p_1}^{p_2} v dp = -\ell_{\text{тех}} \quad \text{или} \quad \ell_{\text{тех}} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp.$$

4.3. По какой формуле вычисляется теоретическая мощность привода компрессора?

$$\text{Ответ: } N_0 = m \left(\frac{n}{n-1} \right) p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right],$$

где m – расход газа в компрессоре, кг/с;

n – показатель политропы.

4.4. Чем характеризуется процесс сжатия в реальном компрессоре?

Ответ: наличием внутренних потерь на трение.

4.5. Чему равен изотермический КПД компрессора, если работа равновесного сжатия в изотермическом процессе $\ell_{\text{из}}=60$ кДж/кг, а работа, затраченная в реальном компрессоре, $\ell_{\text{к}}=100$ кДж/кг?

Ответ: $\eta_{\text{из}}=\ell_{\text{из}}/\ell_{\text{к}}=0,6=60\%$.

4.6. Чем больше ступеней сжатия и охлаждения многоступенчатого компрессора, тем ближе процесс сжатия к...

Ответ: изотермическому.

4. ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА № 4

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ. КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН

В эту дидактическую единицу объединены вопросы двух разделов курса, в любом тестовом задании по два вопроса из каждого раздела.

4.1. Теплопроводность

Вопросы этого раздела не вызывают особых затруднений у студентов, однако следует обратить особое внимание на графическое представление распределения температур в стенке (плоской, цилиндрической, шаровой), а также на дифференциальное уравнение теплопроводности. Ниже приведен анализ типовых тестовых вопросов.

1. Дифференциальное уравнение теплопроводности при отсутствии внутренних источников теплоты имеет вид...

а) в общем виде:
$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right),$$

или
$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t,$$

где
$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \text{ — оператор Лапласа;}$$

$$a = \frac{\lambda}{c\rho} \text{ — коэффициент температуропроводности, м}^2/\text{с};$$

б) для нестационарного двухмерного температурного поля:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right);$$

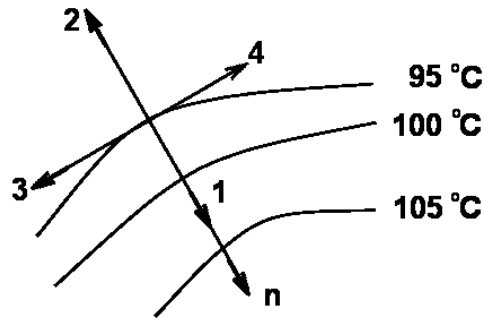
в) для стационарного температурного поля ($\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$):

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0, \text{ или } \nabla^2 t = 0.$$

2. Выражение для закона Фурье имеет вид...

Ответ: $q = -\lambda \operatorname{grad} t$ или $q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}.$

3. На представленной схеме температурного поля указать, какими цифрами обозначены направления векторов градиента температуры и плотности теплового потока.



Ответ: 1 – вектор градиента температуры; 2 – вектор плотности теплового потока.

4. Градиент температуры численно равен...

Ответ: производной от температуры по направлению нормали к изотермической поверхности $\text{grad } t = \frac{\partial t}{\partial n}$.

5. Векторы градиента температуры и плотности теплового потока, выходящие из одной точки изотермической поверхности, направлены...

Ответ: в противоположные стороны.

6. Уравнение плотности теплового потока, передаваемого теплопроводностью через однородную однослойную плоскую стенку, имеет вид...

Ответ: $q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{\text{cm1}} - t_{\text{cm2}})$

7. Для плоской однослойной стенки заданы $\lambda=1$ Вт/(м·К), $\delta=100$ мм, $t_1=500$ °С, $t_2=400$ °С, определить плотность теплового потока q .

Ответ: $q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{\text{cm1}} - t_{\text{cm2}}) = \frac{1 \cdot 100}{0,1} = 1000$ Вт/м².

8. Формула для термического сопротивления 3-слойной однородной плоской стенки имеет вид...

Ответ: $R = \sum_{i=1}^3 \frac{\delta_i}{\lambda_i}$.

9. При стационарном тепловом режиме распределение температуры в однородных стенках осуществляется...

Ответ: а) в плоской – по прямой линии, б) в цилиндрической – по логарифмической кривой, в) в шаровой – по гиперболе.

10. Для цилиндрической стенки заданы $\ell=1$ м, $\ln(d_2/d_1)=2$, $\lambda=0,05$ Вт/(м·К), определить ее термическое сопротивление R .

$$\text{Ответ: } R = \frac{1}{2\pi\lambda\ell} \ln \frac{d_2}{d_1} = \frac{1 \cdot 2}{2\pi \cdot 0,05} = \frac{20}{\pi}.$$

11. Для цилиндрической стенки заданы $\ln(d_2/d_1)=2$, $\lambda=50$ Вт/(м·К), $\Delta T=20$ К, определить линейную плотность теплового потока.

$$\text{Ответ: } q_l = \frac{Q}{\ell} = \frac{\pi \cdot \Delta T}{2\lambda \ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{\pi \cdot 20}{2 \cdot 50 \cdot 2} = 1000\pi.$$

12. Тепловой поток теплопроводностью через однородную цилиндрическую стенку определяется по формуле...

Ответ: из ответа на предыдущий вопрос следует, что линейная плотность теплового потока $q_l = \frac{2\pi\lambda\Delta T}{\ln(d_2/d_1)}$.

13. Для оребренной стенки задан коэффициент оребрения $K_{op}=20$, термическое сопротивление гладкой поверхности $R_\delta=100$ (м²·К)/Вт. Чему равно термическое сопротивление оребренной поверхности, если пренебречь термическим сопротивлением ребер?

$$\text{Ответ: } R_{op} = \frac{\delta}{\lambda} K_{op} = 100 \cdot 20 = 2000 \frac{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}{\text{Вт}}.$$

14. Какие вещества обладают наименьшим и наибольшим коэффициентом теплопроводности?

Ответ: наибольшим – серебро и медь; наименьшим – газы.

15. Для углеродистых сталей коэффициент теплопроводности примерно равен...

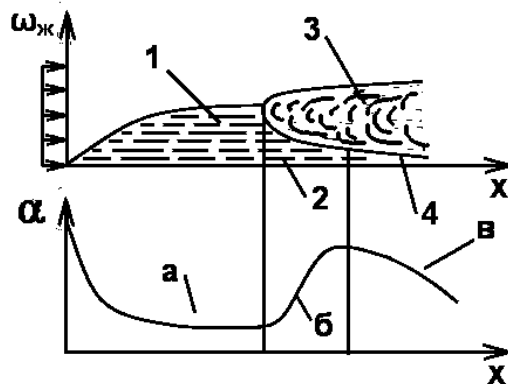
Ответ: 50 Вт/(м·К).

16. Физический смысл коэффициента температуропроводности состоит в том, что он характеризует...

Ответ: скорость изменения температуры в теле.

4.2. Конвективный теплообмен

1. Целая группа вопросов касается схемы формирования пограничного слоя и распределения локальных коэффициентов теплоотдачи (α) при продольном обтекании пластины:



а) какие участки на схеме обозначены цифрами 1-4?

Ответ: 1 – ламинарный слой, 2 – переходная зона, 3 – турбулентный слой, 4 – вязкий ламинарный подслой;

б) из-за чего увеличивается коэффициент теплоотдачи на участке «б»?

Ответ: из-за убывания толщины ламинарного подслоя;

в) каким способом переносится тепловой поток на начальном участке 1?

Ответ: только теплопроводностью;

г) что принимается в качестве определяющей температуры для расчета локальных коэффициентов теплоотдачи на начальном участке 1?

Ответ: температура набегающего потока жидкости;

д) какие уравнения подобия используются для расчета средних коэффициентов теплоотдачи на участках 1 и 3?

Ответ: - на участке 1 (ламинарный пограничный слой)

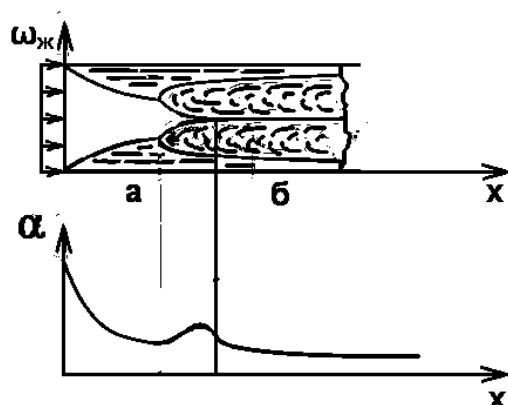
$$Nu_{ж} = 0,66 Re_{ж}^{0,5} Pr_{ж}^{0,33} (Pr_{ж}/Pr_c)^{0,25};$$

- на участке 2 (турбулентный пограничный слой)

$$Nu_{ж} = 0,37 Re_{ж}^{0,8} Pr_{ж}^{0,43} (Pr_{ж}/Pr_c)^{0,25}.$$

Пояснения: в предложенных вариантах ответов есть еще два уравнения, в которые входит безразмерная координата X . Это уравнения для расчета локальных (а не средних) коэффициентов теплоотдачи при ламинарном ($X^{-0,5}$) и турбулентном ($X^{-0,2}$) режимах течения в пограничном слое.

2. Ряд вопросов относится к схеме формирования пограничного слоя и распределения локальных коэффициентов теплоотдачи (α) при турбулентном течении жидкости внутри труб:



а) какие участки обозначены на схеме как «а» и «б»?

Ответ: а – начальный участок, б – участок стабилизированного течения;

б) что принимается за определяющий размер при расчете средней теплоотдачи внутри труб?

Ответ: внутренний диаметр трубы;

в) что принимается в качестве определяющей температуры при расчете средней теплоотдачи внутри труб?

Ответ: средняя арифметическая между температурами жидкости на входе и выходе из трубы;

г) какое уравнение используется для расчета средних коэффициентов теплоотдачи на участке стабилизированного течения?

Ответ: $Nu_{ж} = 0,21 Re_{ж}^{0,8} Pr_{ж}^{0,43} (Pr_{ж}/Pr_c)^{0,25}$

3. Несколько вопросов касаются теплоотдачи при поперечном обтекании труб потоком жидкости:

а) что принимается за определяющий размер при поперечном обтекании труб потоком жидкости?

Ответ: наружный диаметр трубы;

б) при одинаковых условиях коэффициент теплоотдачи от труб шахматного пучка...

Ответ: больше, чем от труб коридорного пучка (вследствие большей турбулизации потока).

Остальные вопросы этого раздела сложности не представляют, некоторые из них приводятся ниже.

4. Согласно закону Ньютона–Рихмана тепловой поток в процессе теплообмена пропорционален площади поверхности теплообмена и...

Ответ: абсолютной величине разности температур поверхности и жидкости $Q = \alpha F(t_c - t_{ж})$.

5. Заданы $\alpha = 100 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $t_c = 80 \text{ }^\circ\text{С}$, $T_{ж} = 70 \text{ }^\circ\text{С}$, определить плотность теплового потока.

Ответ: $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Пояснения: согласно закону Ньютона–Рихмана

$$q = \alpha (t_c - t_{ж}) = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

6. Каким соотношением выражается число Нуссельта?

Ответ:
$$Nu = \frac{\alpha \ell}{\lambda}$$

7. Заданы определяющая температура $40 \text{ }^\circ\text{С}$, определяющий размер $d = 0,1 \text{ м}$, значение $Nu = 100$, значения $\lambda = f(t)$ в табличной форме. Определить коэффициент теплоотдачи.

Ответ: $630 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Пояснения: из таблицы $\lambda = f(t)$ определяем, что при $t = 40 \text{ }^\circ\text{С}$ $\lambda = 0,63 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, тогда

$$\alpha = \frac{Nu \lambda}{d} = \frac{100 \cdot 0,63}{0,1} = 630 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

8. Заданы $Nu = 10$, $\alpha = 60 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $d = 0,1 \text{ м}$ и значения $\lambda = f(t)$ в табличной форме. Найти определяющую температуру.

Ответ: $20 \text{ }^\circ\text{С}$

Пояснения: а) рассчитываем
$$\lambda = \frac{\alpha d}{Nu} = \frac{60 \cdot 0,1}{10} = 0,6 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

б) из таблицы $\lambda = f(t)$ определяем, что $\lambda = 0,6 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ при $t = 20 \text{ }^\circ\text{С}$.

5. ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА № 5

ТЕПЛООБМЕН ИЗЛУЧЕНИЕМ. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Эта дидактическая единица объединяет две различные темы курса – «Теплообмен излучением» и «Теплопередача», причем вопросы первой из них, как показали результаты тестирования 2010-2011 гг., представляют большую сложность, так как многие из них не рассматриваются на практических и лабораторных занятиях.

5.1. Теплообмен излучением

Ниже приводятся полностью тестовые вопросы и ответы по этой теме.

1. Результат превращения внутренней энергии тела в энергию электромагнитных колебаний называется...

Ответ: тепловым излучением.

2. Тепловое излучение как процесс распространения электромагнитных волн характеризуется...

Ответ: длиной волны λ и частотой колебаний $\nu=c/\lambda$, где c – скорость света.

3. Сумма потоков собственного и отраженного телом излучения называется...

Ответ: эффективным излучением.

4. Коэффициенты отражения и пропускания равны соответственно $R=0,001$, $D=0,005$. Тело обладает свойствами, близкими к ...

Ответ: абсолютно черному.

Пояснения: из уравнения теплового баланса $A+R+D=1$ следует, что коэффициент поглощения $A \approx 1$, что характерно для абсолютно черного тела; напомним, что для абсолютно белого тела $R=1$, а для абсолютно прозрачного $D=1$.

5. Тело называют абсолютно белым, если...

Ответ: $D=A=0$ (так как $R=1$).

6. В соответствии с законом Кирхгофа степень черноты (ε) любого тела в состоянии термодинамического равновесия численно равна...

Ответ: коэффициенту поглощения при той же температуре ($\varepsilon=A$).

7. Поверхностная плотность потока интегрального излучения абсолютно черного тела $E_0=5,67 \cdot 10^5$ Вт/м². Степень черноты тела $\varepsilon=0,1$. Определить поверхностную плотность потока интегрального излучения серого тела E .

Ответ: $E = \varepsilon E_0 = 5,67 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$.

8. Определить соотношение между излучательными способностями двух тел, если задано $T_1 = 2000 \text{ К}$, $\varepsilon_1 = 0,01$, $T_2 = 1000 \text{ К}$, $\varepsilon_2 = 0,16$.

Ответ: $E_1 = E_2$.

Пояснения: $E = \varepsilon C_0 (T/100)^4$, тогда

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\varepsilon_1 (T_1/100)^4}{\varepsilon_2 (T_2/100)^4} = \frac{0,01 \cdot 20^4}{0,16 \cdot 10^4} = 1.$$

9. Для излучения серого тела ошибочным является выражение (из четырех приведенных выражений закона Стефана-Больцмана)...

Ответ: $E = C_0 T^4$.

Пояснения: в форме записи этого закона для серых тел должна присутствовать степень черноты ε , что и есть в трех других выражениях

$$E = \varepsilon \sigma_0 T^4 = \varepsilon 5,67 \cdot 10^{-8} T^4 = \varepsilon C_0 (T/100)^4.$$

10. Расчетная формула для приведенной степени черноты системы из двух плоских параллельных тел...

Ответ: $\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}.$

11. Расчетная формула для приведенной степени черноты системы из двух тел, когда одна теплообменная поверхность (F_1) охватывается другой (F_2)...

Ответ: $\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}.$

12. Какие газы не излучают и не поглощают лучистую энергию (выбрать из 4 приведенных вариантов)?

Ответ: Ar и N₂ (в другом вопросе O₂ и N₂).

Пояснение: одно- и двухатомные газы практически прозрачны для теплового излучения, в то время как многоатомные газы (остальные три варианта ответа) обладают значительной способностью излучать и поглощать энергию.

5.2. Теплопередача, основы теплового расчета теплообменников

Вопросы этого раздела требуют от студента знаний понятий «теплопередача» и «теплоотдача», уравнений теплопередачи и теплового баланса теплообменника, выражений для коэффициента теплопередачи и средней разницы температур в теплообменнике, видов теплового расчета и типов теплообменных аппаратов. В полном объеме ввиду достаточной простоты вопросы здесь не приводятся, ниже рассмотрены лишь некоторые из них.

1. Приведено уравнение теплового баланса

$$\eta m_1 (c'_{p1} t'_1 - c''_{p1} t''_1) = m_2 (c'_{p2} t'_2 - c''_{p2} t''_2),$$

требуется ответить на вопросы:

а) какой неизвестный параметр позволяет найти это уравнение?

Ответ: либо расход одного из теплоносителей, либо одна из температур;

б) чему соответствует параметр, обозначенный η ?

Ответ: КПД теплообменника.

2. Какой вид имеет выражение для расчета коэффициента теплопередачи, если $\alpha_1 \gg \alpha_2$?

Ответ:
$$K = \frac{1}{\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}.$$

Пояснение: это математически следует из общего выражения

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

3. В процессе теплопередачи теплота передается от капельной жидкости к газу через металлическую стенку. Какое термическое сопротивление нужно уменьшить в первую очередь для интенсификации процесса теплопередачи?

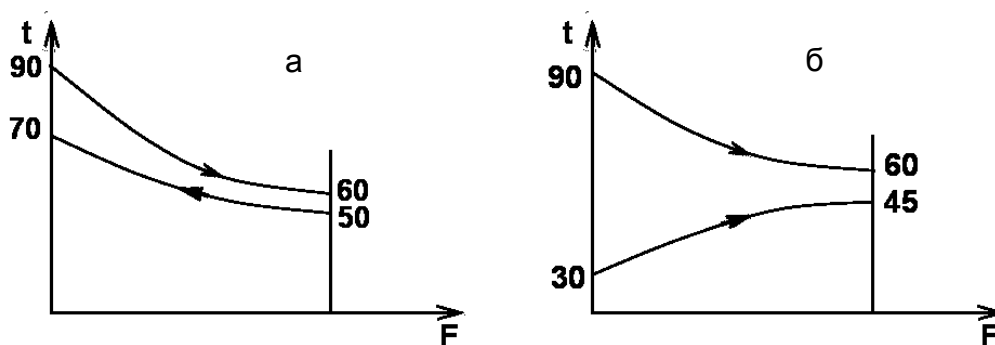
Ответ: термическое сопротивление процесса теплопередачи от поверхности стенки к газу.

Пояснения: из выражения для коэффициента теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

следует, что его величина зависит от частных термических сопротивлений всех трех стадий теплопередачи и определяется главным образом наибольшим из них. Поскольку интенсивность теплоотдачи от стенки к газу (α_2) невелика, то именно термическое сопротивление этой стадии $R=1/\alpha_2$ максимально и для интенсификации теплопередачи его и нужно в первую очередь уменьшить.

4. Приведены графики изменения температур теплоносителей в теплообменнике для противоточной (а) и прямоточной (б) схем движения этих теплоносителей:



Требуется ответить на вопросы:

а) чему равна наименьшая разность температур для противоточной схемы?

Ответ: $\Delta t_m = 10^\circ\text{C}$;

б) чему равна наибольшая разность температур для прямоточной схемы?

Ответ: $\Delta t_6 = 60^\circ\text{C}$.

5. Определить критический диаметр изоляции, если $\lambda_{\text{из}} = 0,05 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, коэффициент теплоотдачи во внешнюю среду $\alpha_2 = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Ответ : $d_{\text{кр}} = \frac{2\lambda_{\text{из}}}{\alpha_2} = \frac{2 \cdot 0,05}{10} = 0,01 \text{ м}.$

Пояснение: критическим называется значение диаметра изоляции, меньше которого она неэффективна.

6. ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА №6

ТОПЛИВО И ОСНОВЫ ГОРЕНИЯ. ТЭС И КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

6.1. Топливо и основы горения

Студентам следует обратить особое внимание на изучение этого раздела, принимая во внимание большое количество тестовых вопросов по нему, многие из которых требуют знания достаточно узкоспециальных понятий.

Ниже приведен анализ типовых тестовых вопросов.

1. Горючими элементами органического топлива являются...

Ответ: углерод, водород и сера.

2. С увеличением возраста топлива увеличивается содержание...

Ответ: углерода (а водорода слегка уменьшается).

3. Состав топлива определяется формулой...

Ответ: а) в рабочем состоянии (индекс «r»)

$$C^r + H^r + O^r + N^r + S^r + A^r + W^r = 100 \%;$$

б) в сухом состоянии (индекс «d»)

$$C^d + H^d + O^d + N^d + S^d + A^d = 100 \%;$$

в) в сухом беззольном состоянии (индекс «daf»)

$$C^{daf} + H^{daf} + O^{daf} + N^{daf} + S^{daf} = 100 \%.$$

4. При сгорании серы образуются...

Ответ: токсичные ангидриды – сернистый SO_2 и серный SO_3 .

5. Токсичным компонентом продуктов сгорания топлива является...

Ответ: оксид азота NO.

6. Зольность топлива в сухом состоянии $A^d = 10 \%$, влажность топлива в рабочем состоянии $W^r = 2 \%$. Определить зольность топлива в рабочем состоянии.

Ответ: $A^r = 9,8\%$.

Пояснения: из выражения $100A^r = (100 - W^r) A^d$,

$$\text{получаем } A^r = \frac{(100 - 2) \cdot 10}{100} = 9,8\%.$$

7. Выход летучих V^{daf} в процентах на сухое беззольное состояние экспериментально определяется путем прокаливании 1 г топлива без доступа воздуха в течение 7 мин при температуре...

Ответ: $850 \pm 10^\circ C$.

8. На сколько типов делятся ископаемые угли?

Ответ: на три основных типа (бурые, каменные и антрациты).

9. Мазутом называется жидкий остаток перегонки нефти с температурой начала кипения...

Ответ: 330-350 °С.

10. Какой мазут из представленных марок Ф5, М100, Ф12, М40 обладает наименьшей кинематической вязкостью?

Ответ: Ф5 (чем меньше цифра в обозначении марки мазута, тем меньше его вязкость).

11. Каково содержание серы в топочных мазутах?

Ответ: а) в малосернистых $S^r \leq 0,5 \%$;

б) в сернистых $S^r = 0,5-2 \%$;

в) в высокосернистых $S^r = 2,5-3,5 \%$.

12. Три условия, которые обеспечивают быстрое и экономичное сжигание жидкого топлива, это...

Ответ: мелкий распыл, хорошее перемешивание с окислителем и надежная стабилизация горения.

13. Основным компонентом природного газа является...

Ответ: метан CH_4 .

14. Продукт анаэробной ферментации (сбраживания) органических отходов называется...

Ответ: биогазом.

15. Формула Менделеева для теплоты сгорания (МДж/кг) твердого и жидкого топлива имеет вид...

Ответ: $Q_i^r = 0,34C^r + 1,03H^r - 0,11(O^r - Sc^r) - 0,025W^r$.

16. Связь между высшей (Q_s^r) и низшей (Q_i^r) теплотой сгорания в рабочем состоянии выражается формулой...

Ответ: $Q_s^r = Q_i^r + 25(9H^r + W^r)$, кДж/кг.

17. Заданы содержание водорода $H^r = 10 \%$, влажность $W^r = 10 \%$ и низшая теплота сгорания рабочей массы топлива $Q_i^r = 13000$ кДж/кг, определить высшую теплоту сгорания топлива Q_s^r .

Ответ: $Q_s^r = Q_i^r + 25(9H^r + W^r) = 13000 + 25(9 \cdot 10 + 10) = 15500$ кДж/кг.

18. Заданы годовые тепловая нагрузка котельной установки $Q_k = 2000$ ГДж и расход топлива $B = 100$ т, определить низшую теплоту сгорания рабочей массы топлива.

Ответ: $Q_i^r = \frac{Q_k}{B} = \frac{2000 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3} = 20 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$.

19. Заданы годовой расход топлива $B=400$ т и низшая теплота сгорания рабочей массы топлива $Q_i^r=25$ МДж/кг. Определить тепловую нагрузку котельной за год.

Ответ: $Q_k = BQ_i^r = 25 \cdot 400 \cdot 10^3 = 10000000$ МДж = 10000 ГДж.

20. Количество кислорода, необходимое для полного сгорания 2 кг водорода в соответствии со стехеометрической реакцией $H_2 + 0,5O_2 = H_2O$ равно...

Ответ: 16 кг ($2+16=18$).

21. Заданы количество кислорода, которое нужно подать с воздухом в топку котла M_{O_2} , плотность кислорода при нормальных условиях $1,43$ кг/м³ (молекулярная масса, деленная на объем одного киломоля, т.е. $32/22,4$), содержание кислорода в сухом воздухе $0,21$. Определить теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания топлива.

Ответ: $V^0 = M_{O_2} / (1,43 \cdot 0,21)$, м³/кг.

22. Отношение количества воздуха V_v , действительно подаваемого в топку, к теоретически необходимому V^0 называется...

Ответ: коэффициентом избытка воздуха $\alpha_v = V_v / V^0$.

23. Объем сухих трехатомных продуктов сгорания вычисляется по формуле...

Ответ: $V_{RO_2} = V_{CO_2} + V_{SO_2}$.

24. Заданы объем окиси углерода в дымовых газах $V_{CO} = 1$ м³, низшая теплота сгорания окиси азота $Q_{CO} = 12,6$ МДж/м³. Химический недожог $Q_{хим}$ равен...

Ответ: $Q_{хим} = V_{CO} Q_{CO} = 12,6$ МДж.

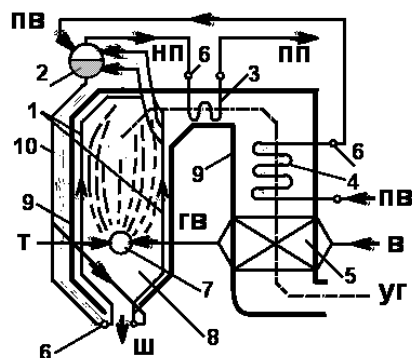
25. Смесь природного газа с воздухом невозможно поджечь от постороннего источника, если...

Ответ: концентрация CH_4 меньше 5 %, либо больше 15 %.

6.2. ТЭС и котельные установки

Целая группа вопросов касается устройства вертикально-водотрубного барабанного парового котла с естественной циркуляцией.

1. Представлена схема котла, требуется указать, какой цифрой обозначено то или иное оборудование.



Ответ: 1 – экранные трубы; 2 – барабан; 3 – пароперегреватель; 4 – водяной экономайзер; 5 – воздухоподогреватель; 6 – коллекторы; 7 – горелка; 8 – топка; 9 – контур (стена) топки и газоходов; 10 – опускная труба.

2. Водяной экономайзер и воздухоподогреватель воспринимают теплоту уходящих газов в основном...

Ответ: конвекцией.

3. Отделение пара от воды выполняется...

Ответ: в барабане.

4. Повышение температуры пара, поступающего из барабана котла выполняется...

Ответ: в пароперегревателе.

5. Питательная вода поступает в...

Ответ: экономайзер;

Приведем также и другие вопросы этого раздела.

6. К тягодутьевым машинам котельной установки относятся...

Ответ: дутьевой вентилятор и дымосос.

7. К вспомогательному оборудованию котельной установки не относятся...

Ответ: котельные агрегаты (это основное оборудование установки).

8. Потери теплоты в котле складываются из...

Ответ: потерь с уходящими газами, от химической неполноты сгорания топлива, от механического недожога, потерь через ограждения топки и конвективных газоходов.

9. Заданы использованная теплота $Q_1 = 27$ МДж/кг и низшая теплота сгорания топлива $Q_i^r = 30$ МДж/кг, определить КПД котла «брутто».

Ответ: $\eta_k = \frac{Q_1}{Q_i^r} \cdot 100\% = \frac{27}{30} \cdot 100 = 90\%$.

10. КПД «брутто» современных котлов превышает...

Ответ: 90 % .

11. Теплота Q_1 , воспринятая водой и паром в котле, определяется по формуле...

$$\text{Ответ: } Q_1 = \frac{D(h_{\text{п.п.}} - h_{\text{п.в.}})}{B},$$

где $h_{\text{п.п.}}$ и $h_{\text{п.в.}}$ – соответственно энтальпии перегретого пара и питательной воды; D – расход пара; B – расход топлива.

12. Расход топлива котлом рассчитывается по формуле...

$$\text{Ответ: } B = \frac{D(h_{\text{п.п.}} - h_{\text{п.в.}})}{Q_1^r \eta_k} \text{ (обозначения даны в вопросах 9, 11).}$$

13. Поверхности нагрева парового котла рассчитываются по уравнению...

Ответ: теплопередачи.

14. Общая жесткость питательной воды определяется наличием солей...

Ответ: Ca и Mg .

15. Паровой котел Бийского котельного завода имеет маркировку

ДЕ 10-14 ГМ. Цифры 10 и 14 обозначают...

Ответ: номинальные производительность 10 т/ч и давление пара, вырабатываемого котлом, 14 кгс/см².

16. Внутренняя коррозия поверхностей нагрева котла зависит от концентрации растворенных в воде...

Ответ: кислорода и двуокиси углерода (O_2 и CO_2).

17. На тепловых электрических станциях в качестве теплового двигателя широко используются...

Ответ: паровые турбины.

18. Электрическая станция, одновременно вырабатывающая и электрическую, и тепловую энергию, называется...

Ответ: теплоэлектроцентралью (ТЭЦ)

(только электрическую энергию вырабатывают конденсационные электростанции – КЭС).

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Теплотехника: учебник для вузов [Текст] / под ред А.П. Баскакова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 224 с.
2. Мамаев В.В. Техническая термодинамика: учеб. пособие / В.В. Мамаев. Екатеринбург: УГЛТА, 2001. 116 с.
3. Исаченко В.П. Теплопередача: учебник для вузов [Текст] / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. М.: Энергоиздат, 1981. 416 с.
4. Королёв В.Н. Теплообмен: учеб. пособие [Текст] / В.Н. Королёв, В.В. Мамаев. Екатеринбург: УГЛТА, 2000. 189 с.
5. Брдлик П.М. Теплотехника и теплоснабжение предприятий лесной и деревообрабатывающей промышленности: учебник для вузов [Текст] / П.М. Брдлик, А.В Морозов, Ю.П. Семенов. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 456 с.